

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-162684

(43)Date of publication of application : 21.06.1996

(51)Int.Cl.

H01L 39/22

(21)Application number : 06-301813

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 06.12.1994

(72)Inventor : HIRATANI MASAHIKO
IMAGAWA KAZUSHIGE

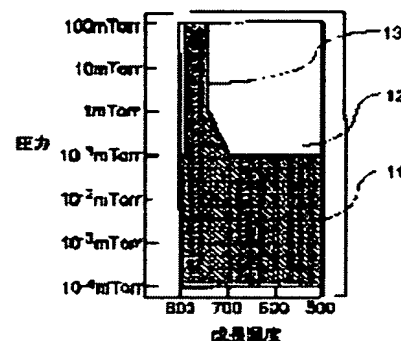
(54) OXIDE ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To give the conditions of a temperature and a pressure for forming a thin film capable of growing in the orientation relation of a cube on cube in which an SrTiO₃ layer is on an MgO plane (001) in a board structure in which the SrTiO₃ layer is formed on a single crystalline surface of the MgO (001).

CONSTITUTION: An orientation of cube on cube is obtained on a hatched temperature-pressure area 11, an orientation (110) is mainly grown in a region 12, and an orientation (111) is mainly grown in a region 13.

Accordingly, a low-cost perovskite structure board having a large area is given with suitable thin film growth of an oxide superconductor, a ferroelectric element, etc.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-162684

(43) 公開日 平成8年(1996)6月21日

(51) IntCl⁴
H01L 39/22

識別記号
ZAA G

片内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-301813

(22) 出願日 平成6年(1994)12月6日

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72) 発明者 平谷 正彦
東京都国分寺市東荏ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 今川 一重
東京都国分寺市東荏ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74) 代理人 弁護士 小川 勝男

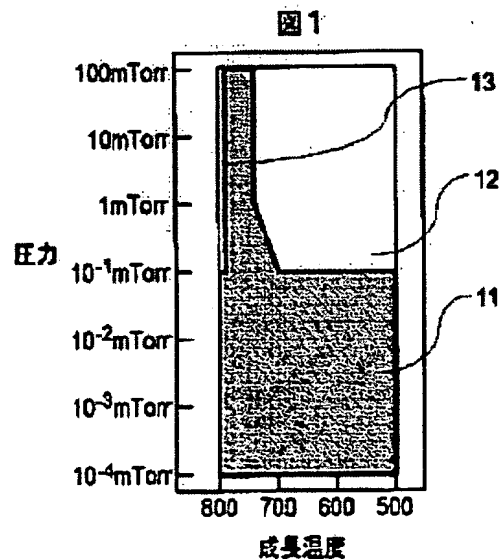
(54) 【発明の名称】 酸化物素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 $MgO(001)$ 単結晶面上に $SrTiO_3$ 層を形成する基板構造において、 $SrTiO_3$ 層が $MgO(001)$ 面上にキューブ オン キューブの配向関係で成長し得る薄膜形成の温度と圧力の条件を与えることにある。

【構成】 ハッチの入った温度-圧力領域(11)ではキューブ オン キューブの配向が得られ、領域(12)では(110)配向が主として、領域(13)では(111)配向が主として成長する。

【効果】 酸化物超電導体、強誘電体などの薄膜成長に好適で、かつ価格的に安価で大面積のペロブスカイト構造基板を与える。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】板状の酸化物マグネシウム (MgO) 単結晶上に単結晶からなる $SrTiO_3$ 層が形成された基板の上に、酸化物層からなるソース電極、ドレイン電極および上記ソース、ドレイン電極間の上記基板の上に絶縁膜を介してゲート電極を形成することを特徴とする酸化物素子。

【請求項 2】請求項 1 に記載の酸化物素子において、上記ソース電極およびドレイン電極は、酸化物超電導体、導電性酸化物のうちいずれかの材料よりなることを特徴とする酸化物素子。

【請求項 3】請求項 1 に記載の酸化物素子において、上記ゲート電極は、酸化物誘導電体、酸化物絶縁体、酸化物高誘電体のうちいずれかの材料よりなることを特徴とする酸化物素子。

【請求項 4】請求項 1 に記載の酸化物素子において、上記 $SrTiO_3$ の Ti に Nb を 0.5 重量パーセント以内の範囲で添加したことを特徴とする酸化物素子。

【請求項 5】 MgO 単結晶板上に単結晶 $SrTiO_3$ を成長し、上記単結晶 $SrTiO_3$ 上に酸化物層からなるソース電極及びドレイン電極を形成し、上記ソース電極とドレイン電極間の上記単結晶 $SrTiO_3$ 上に絶縁膜を介してゲート電極を形成する工程を有することを特徴とする酸化物素子の製造方法。

【請求項 6】請求項 5 の酸化物素子の製造方法において、上記単結晶 $SrTiO_3$ 層を成長させる温度は、 $SrTiO_3$ の $\{110\}$ の型面が MgO の $\{001\}$ の型面と平行であるような配向が消失すると同時に $SrTiO_3$ の $\{001\}$ の型面が MgO の $\{001\}$ の型面と平行である配向のみが得られ始める温度以上、かつ $SrTiO_3$ の $\{111\}$ の型面が MgO の $\{001\}$ の型面と平行であるような配向が消失し始める温度未満であることを特徴とする酸化物素子の製造方法。

【請求項 7】請求項 5 の酸化物素子の製造方法において、単結晶 $SrTiO_3$ は、パルスレーザ蒸着法、収束イオンビーム蒸着法、スパッタリング法のいずれかを用いることにより、上記 MgO 単結晶板上に形成することを特徴とする酸化物素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、単結晶よりなるチタン酸ストロンチウム 薄膜上に形成された酸化物超電導体、酸化物誘導電体、酸化物絶縁体、酸化物高誘電体よりなる素子およびその作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】チタン酸ストロンチウム ($SrTiO_3$) は酸化物超電導体薄膜や酸化物誘導電体薄膜を形成する基板として広く用いられている。これは基板および作製しようとする薄膜双方の結晶構造が同じペロブスカイト構造であることを利用して、材料こそ異なるもの

の類似ホモエピタキシャル成長とも言えるべき類似の結晶構造からなる薄膜/基板構造を形成することで、より高品質の機能性薄膜を得ようとするものである。この例として、アブライド フィジックス レターズ、59 (1991 年) 第 3470 頁 (Appl. Phys. Lett., 59 (1991), PP3470) に見られる $Au/SrTiO_3/YBa_2Cu_3O_{7-x}/SrTiO_3$ 基板構造からなる電界効果型超電導素子を一例として挙げるができる。一方、ペロブスカイト構造を基本構造とする酸化物薄膜は、ペロブスカイト構造とは異なる塩化ナトリウム ($NaCl$) 型構造をとる酸化物マグネシウム (MgO) 基板にも形成し得ることが知られている。例えば、フィジカル レビュー、42 (1990 年) 第 10141 頁 (Physical Review, 42 (1990), PP10141) において、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}/MgO$ 基板構造が報告されている。また、 MgO 基板上に直接 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ を形成する代わりに、 MgO 基板上に一旦ペロブスカイト構造の酸化物下地層を形成してその上に $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 酸化物を形成するという多層構造の例として、アブライド フィジックス レターズ、60 (1992 年) 第 3180 頁 (Appl. Phys. Lett., 60 (1992), PP3180) に見られる、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}/SrTiO_3/MgO$ 構造を例として挙げるができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術の項において述べた、(1) $SrTiO_3$ 基板上に直接目的のペロブスカイト構造をとる酸化物層を形成する方法、(2) MgO 基板上に直接目的のペロブスカイト構造をとる酸化物層を形成する方法、(3) MgO 基板上に $SrTiO_3$ 中間層を介して目的のペロブスカイト構造をとる酸化物層を形成する方法、それぞれは以下に述べる問題点を有している。

【0004】まず、最初の $SrTiO_3$ 基板を用いる方法は従来技術の項で述べた通り、基板と同じペロブスカイト構造をとる機能性酸化物薄膜を形成するという目的では最も好ましい。しかし、 $SrTiO_3$ 基板そのものは、高価格と基板面積の制約という二つの大きな問題点を抱える。一般的な価格として、 $SrTiO_3$ 基板は厚さが 0.5mm で 1 平方センチメートル当たり 5 千円以上と高い。さらに、基板上に素子などを形成する際には、高いスループットとそれに伴う素子単価の低減の観点から、基板面積は実用面積の範囲内で出来る限り大きいことが望ましいのは言うまでもない。しかし、単結晶の育成技術上の制約から $SrTiO_3$ 単結晶基板の面積は最大で 20mm 角に限定される。ペロブスカイト構造をとる単結晶基板としては $NdGaO_3$ も知られているが、その価格は $SrTiO_3$ 単結晶の 2 倍以上と高価である。

【0005】次に、 SrTiO_3 単結晶が抱える価格と面積の問題点を解決するために、非ペロブスカイト構造の MgO 単結晶を基板として用いる場合の問題点を説明する。 MgO 単結晶基板の価格は、厚さが0.5mmで1平方センチメートル当たり1.8千円前後と SrTiO_3 単結晶基板の半額以下であり、さらに SrTiO_3 単結晶基板の4倍の面積の40mm角の基板も容易に入手可能である。しかし、ペロブスカイト構造の酸化物薄膜を形成するための基板としては、擬似ホモエピタキシを提供する SrTiO_3 と比較して、 MgO 基板では完全なヘテロエピタキシが要求されるので、薄膜の結晶性が低下することは避けられない。従来技術の項で説明した MgO 基板上にペロブスカイト構造をとる $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜を形成する例では、基板面と垂直な方向には薄膜は優先的な面配向関係を保つが、基板面に平行な面内では種々の方向に配向した結晶粒が混在して成長し、 SrTiO_3 基板を用いて得られる擬似ホモエピタキシほどには、高配向の薄膜を成長させることは難しい。

【0006】最後に、 MgO 基板の価格、面積面での優位性と、 SrTiO_3 の擬似ホモエピタキシを提供するという結晶性面での優位性の双方を有する解決策として、 SrTiO_3 層/ MgO 単結晶という基板構造を用いる場合を考える。しかしながら、従来技術の項で示した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜/ SrTiO_3 層/ MgO 単結晶の例に見られるように、 MgO 単結晶上に SrTiO_3 の単結晶を成長させるのは簡単ではない。 MgO (001) 単結晶基板上に SrTiO_3 層を形成しようとする、 SrTiO_3 薄膜の配向に関して、その(001)面が基板面と平行である関係に加えて(110)面が基板面と平行であるような関係が含まれることが報告されている。さらに、 SrTiO_3 層の(001)面が優先的に MgO 基板面と平行である配向を得ようとするれば、基板を摂氏1200度の高温で10時間熱処理して MgO の清浄結晶面を形成することが必要であると述べられている。典型的な薄膜形成温度が摂氏600度から800度であることを考えると、これよりも500度近く高い1200度という高温を40mm角の大面积基板に対して実行することは技術的にも価格的にも利点はない。

【0007】以上説明したように、従来の技術ではペロブスカイト構造の酸化物薄膜を作製するための単結晶基板として、低価格と大面积の双方に優れた好適な基板は入手しがたい。

【0008】本発明の目的は、ペロブスカイト構造の酸化物薄膜を作製するための単結晶基板として、 SrTiO_3 単結晶薄膜層/ MgO 単結晶という構造に着眼し、ペロブスカイト構造の SrTiO_3 薄膜を NaCl 型構造の MgO 基板上へ成長させるというヘテロエピタキシの困難さを克服して、価格および面積の両面からペロブ

スカイト構造の酸化物薄膜作製に好適な SrTiO_3 単結晶層/ MgO 単結晶構造の素子およびその作製方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、以下の SrTiO_3 単結晶層/ MgO 単結晶構造の作製条件を与えた。

【0010】既に説明したように、 SrTiO_3 層は MgO 単結晶基板上に双方の単位胞を規定する結晶格子の一面を共有して(いわゆるキューブ オン キューブの関係で)配向し得ることが知られている。ただし、同時に種々の配向が混在するために SrTiO_3 の単結晶層が得られないことが大きな問題であることも上で説明した。 SrTiO_3 と MgO は格子の不整合(いわゆるミスフィット)が7%と大きく、本来ならばキューブ オン キューブの配向関係は期待できない。他の配向が混在しながらもキューブ オン キューブの配向が一部含まれるのは、 MgO 単結晶表面上の微小な原子座差に沿って、 SrTiO_3 層がグラフォエピタキシするからだとしてされている。通常、グラフォエピタキシには、基板表面上に蒸着される粒子の十分な表面運動エネルギーが要求される。言い換えれば、付着する蒸着粒子にはグラフォエピタキシにとって必要なエネルギー的に安定であるような格子点を拡散して模索するための運動エネルギーが要求される。つまり、十分な表面運動エネルギーが確保されるような SrTiO_3 層を作製する条件を見出せば、問題は解決するといつて良い。従来技術の項で挙げた MgO 単結晶基板を摂氏1200度の高温で10時間熱処理する方法は、付着粒子が MgO 表面上で表面運動する時に障害となる原因を清浄表面を形成することで除外して大きな表面運動エネルギーを確保しようとする方法に他ならない。

【0011】そこで、十分な表面運動エネルギーが確保される結果として MgO 単結晶表面上に SrTiO_3 の単結晶薄膜層が形成される条件が存在すると考え、これを調べた。具体的には、この目的を達成するために MgO 単結晶の{001}のいずれかの型面(以下では(001)面を代表面として説明する)上に SrTiO_3 単結晶層の{001}のいずれかの型面(以下では(001)面を代表面として説明する)が、キューブ オン キューブの関係で配向するような SrTiO_3 の薄膜作製中の温度-圧力条件を見出した。

【0012】

【作用】 MgO 単結晶の(001)面上に配向する SrTiO_3 層の配向は、以下の理由により温度-圧力条件で変化する。

【0013】 SrTiO_3 層が MgO 単結晶表面上の微小な原子座差に沿ってグラフォエピタキシすることを考えると、蒸着粒子の十分な表面運動エネルギーが確保されるような温度と圧力に関する薄膜作製条件が必ず存在す

るべきである。これは以下のように考えられる。

【0014】まず、温度条件について考える。基板表面上での運動エネルギーを熱エネルギーによって供給する時には、グラフォエピタキシを与える最低温度が存在する。この温度よりも低い薄膜作製の温度条件では基板表面上に蒸着される粒子に十分な表面運動エネルギーを熱エネルギーとして供給することができないために、薄膜にグラフォエピタキシを与えるような蒸着粒子と基板面との相互作用は期待されない。この温度よりも高い薄膜作製の温度条件では、十分な表面運動エネルギーが熱エネルギーとして供給される故に、グラフォエピタキシが期待される。薄膜作製の温度条件をさらに上昇させた場合を考える。グラフォエピタキシは熱平衡的に最も安定した配向ではなく、蒸着粒子の表面拡散時間が影響する動力学的な効果と、蒸着粒子と基板間の熱エネルギー的に安定な相互作用との均衡によって達成される配向である。つまり、薄膜作製温度を上昇させるに伴って、グラフォエピタキシよりも安定な別の優先配向が発生することが期待される。例えば、結晶格子の最稠密充填構造面が基板面と平行に成長し始める温度が存在することが期待される。したがって、グラフォエピタキシを与える薄膜作製の温度条件は、グラフォエピタキシが開始する最低温度と別のよりエネルギー的に安定な配向が開始する最高温度の範囲内に規定される。

【0015】ここで最も問題となるのが、薄膜作製の温度条件の定義である。通常、薄膜作製の具体的な温度をすべての薄膜作製装置に共通の尺度として定義することは不可能である。なぜなら、基板を蒸着する加熱板の表面温度の測定方法が実際の表面を測る場合と加熱ヒータ近傍を測る場合とでは温度の定義が異なるし、蒸着する温度測定子の取付方法が単に押し止めるだけの場合と熱シンクを介して接する場合とでも温度定義には数十度の差が生じるなど、温度定義が個々によって異なるからである。しかし、たとえ具体的な温度の定義が異なっても、薄膜作製の温度条件が上昇するに伴う混合配向からグラフォエピタキシそして温度的に安定な別の優先配向への変化は共通である。したがって、本発明の基盤となる装置で定義される温度に固定することなく、配向の変化が生じる相対的な温度によってもグラフォエピタキシに好適な温度範囲を制限することが出来る。

【0016】次に、圧力条件について考える。基板表面上に飛行して蒸着される粒子は、粒子が空間を飛行するのに必要な運動エネルギーと粒子自体の励起状態を決定する内部エネルギーとを合わせ持つ。そして、飛行粒子が基板表面上に衝突した後は飛行粒子が保持していた運動および内部エネルギーは基板表面上での表面運動エネルギーに転化される。一方、飛行粒子の持つ運動と内部エネルギーは、飛行中の粒子間の衝突や雰囲気ガスとの衝突によって失われやすい。つまり、飛行粒子の飛行距離がその雰

囲気圧力下での平均自由行程よりも十分短いならばそのエネルギーは保持される。したがって、グラフォエピタキシに必要な表面運動エネルギーを飛行粒子が保持し続けるのに必要な最高の圧力値が存在する。この圧力よりも高い薄膜作製の圧力条件では、飛行粒子の持つ運動および内部エネルギーは雰囲気ガスとの衝突によって失われ、グラフォエピタキシを与えるだけの十分なエネルギーは蒸着粒子には保持されない。この圧力よりも低い薄膜作製の圧力条件では、十分大きなエネルギーが表面運動エネルギーに転化される結果、グラフォエピタキシが期待される。

【0017】酸化物薄膜を作製するには、薄膜が分解しないための最低の酸化活量が雰囲気ガスに要求される。酸化活量は雰囲気ガスの種類に固有の物性値であるので、これを雰囲気ガスの圧力に換算して、雰囲気ガスの圧力は何トル以上であることが望ましいとは規定できない。雰囲気ガスとしては、窒素ガス、酸素(O₂)、二酸化窒素(NO₂)、一酸化窒素(N₂O)、オゾン(O₃)などの酸化性ガスおよびそのRF放電、DC放電、ECR放電、イオンビームなどによる活性状態が考えられる。雰囲気ガスが上記の酸化性ガスと不活性ガスの混合ガスである場合には、飛行粒子はすべてのガス分子と衝突し散乱されるので全体の圧力でもって雰囲気ガスの圧力とみなされる。

【0018】以上のグラフォエピタキシを与える薄膜作製の温度と圧力の条件は、独立した条件ではなく温度と圧力の二つの変数で構成される二次元のグラフ上で地図化される。つまり、グラフォエピタキシに必要な粒子の表面運動エネルギーは温度と圧力のいずれかあるいは双方から同時に供給され得るので、例えば、温度条件の最低および最高温度は圧力とともに変化することが期待される。さらに、配向の温度および圧力依存の傾向は薄膜作製法には依存しない。グラフォエピタキシ条件を地図化し得る条件の範囲内で薄膜を形成することが可能な形成法であれば、本発明による条件を適用することができる。

【0019】MgO(001)基板表面上にSrTiO₃薄膜がキューブ オン キューブに配向するためには、MgO(001)面の精度を規定する必要がある。育成された単結晶の塊に対してX線回折などで方位を決定した後、これをもとにMgO(001)結晶面を切出す。もちろん、極めて正確に(001)結晶面が基板面と一致することが好ましく、さらに、極端な例として5度以上結晶面が基板面と変位すれば基板表面の実質的な結晶面が規定できなくなりキューブ オン キューブの配向は期待されない。この両者の中間からMgO(001)面と基板平坦面との角度はプラスマイナス2度以内であることが望ましい。

【0020】以上説明したSrTiO₃薄膜のMgO(001)単結晶面上への成長に関する作用は、薄膜成長の観点から性質がほとんど変わらないNbをO、5重

量%以内の範囲で添加したSrTiO₃薄膜についても全く同様に適用される。

【0021】

【実施例】 本発明を以下の実施例にもとづいて説明する。

【0022】（実施例1）MgO（001）面が基板平坦面となす角度がプラスマイナス0.5度以内である25mm角のMgO単結晶板上に、パルスレーザー蒸着法を用いてSrTiO₃薄膜を作製した。光源には波長248nmのエキシマレーザーを用い、ターゲットにはSrTiO₃の単結晶を用いた。薄膜成長の温度条件は摄氏500度から摄氏800度、圧力条件は1/10000ミリトルから1000ミリトルの範囲で変化させた。成長温度はMgO単結晶板を接する加熱板上に数ミリ角の熱シンクを介して固定した直径0.5mmのシース熱電対を用いて校正した値で定めた。酸化性ガスとして酸素を用い、1/1000ミリトル以下の圧力では残管ガスのみを用い意図的には酸素を導入しなかった。

【0023】この成長温度と圧力条件の範囲で、X線回折によりSrTiO₃薄膜の配向を調べた結果を図1に示す。ハッチ入りで示した条件の領域（11）では、キューブ オン キューブの配向のみが観察された。圧力が1/10ミリトル（mTorr）以下では温度にかかわらず摄氏500度以上摄氏800度以下の温度条件でキューブ オン キューブの配向のみが観察された。温度が摄氏740度以上摄氏800度未満では圧力にかかわらず100ミリトル以下の圧力でキューブ オン キューブの配向のみが観察された。（温度、圧力）の条件が（摄氏700度、1/10ミリトル）と（摄氏740度、1ミリトル）とを結ぶ直線よりも高温かつ低圧側ではキューブ オン キューブの配向のみが観察された。温度が摄氏800度で圧力が100ミリトル以下かつ1/10ミリトルよりも高い領域（13）では、最稠密面であるSrTiO₃の（111）面がMgO（001）面と平行である配向が優先配向で同時にキューブ オン キューブの配向も混在した。残りの領域（12）では、SrTiO₃の（110）面がMgO（001）面と平行である配向が有力で、キューブ オン キューブの配向も観察された。

【0024】なお、Nbを0.005重量%から0.5重量%の範囲で添加した薄膜についても図1と全く同じ結果が得られた。

【0025】（実施例2）MgO（001）面が基板平坦面となす角度がプラスマイナス1.5度以内である10mm角のMgO単結晶板上に、収束イオンビーム蒸着法を用いてSrTiO₃薄膜を作製した。12kV-8mAの出力で発生した電子ビームを3つの磁界レンズを用いてSrTiO₃単結晶ターゲット上に収束した。ターゲット上での電子銃のスポット径は約0.5ミリメートルであった。薄膜成長の温度条件は摄氏500度から

摄氏800度、圧力条件は1/10000ミリトルから1/10ミリトルの範囲で変化させた。成長温度はMgO単結晶板を接する加熱板上に数ミリ角の熱シンクを介して固定した直径0.5mmのシース熱電対を用いて校正した値で定めた。酸化性ガスとして酸素を用い、マスフローコントローラでガス流量をオレフィスを用いて排気速度を同時に制御して目的の圧力を達成した。この温度と圧力条件の範囲で、X線回折によりSrTiO₃薄膜の配向を調べた結果、すべての条件でキューブ オン キューブの配向のみが観察された。

【0026】（実施例3）MgO（001）面が基板平坦面となす角度がプラスマイナス2.0度以内である40mm角のMgO単結晶板上に、スパッタリング法を用いてNbを0.5重量%添加したSrTiO₃（以下、Nb:SrTiO₃と記す）薄膜を作製した。ターゲットには焼結体ターゲットを用いた。薄膜成長の温度条件は摄氏450度から摄氏770度の範囲で変化させた。圧力条件が50ミリトルから10ミリトルの範囲ではRFマグネトロンスパッタリング法で、1ミリトルから5/100ミリトルの範囲ではマグネトロン型ECRスパッタリング法で薄膜を作製した。成長温度は装置構造の制約から加熱ヒータから数cm離れた場所に設置した熱電対の指標で定めたので、基板面上の温度はこれよりも50度から100度高いと思われる。放電ガスにはアルゴンと酸素の6対4比率の混合ガスを用いた。

【0027】このヒータ温度と圧力条件の範囲でX線回折によりNb:SrTiO₃薄膜の配向を調べた結果を図2に示す。ハッチ入りで示した条件の領域（21と22）では、キューブ オン キューブの配向のみが観察された。圧力が1/10ミリトル（mTorr）以下では温度にかかわらず摄氏450度以上摄氏770度以下の温度条件でキューブ オン キューブの配向のみが観察された。温度が摄氏690度以上摄氏750度未満では圧力にかかわらず50ミリトル以下の圧力でキューブ オン キューブの配向のみが観察された。温度が摄氏750度以上770度以下で、圧力が50ミリトル以下かつ1/10ミリトルよりも高い領域（25と26）では、最稠密面であるNb:SrTiO₃の（111）面がMgO（001）面と平行である配向が優先配向で、同時にキューブ オン キューブの配向も混在した。残りの領域（23と24）では、Nb:SrTiO₃の（110）面がMgO（001）面と平行である配向が有力で、キューブ オン キューブの配向も観察された。

【0028】なお、Nbを0.005重量%および0.05重量%の範囲で添加したSrTiO₃薄膜およびNbを含まないSrTiO₃薄膜についても、図2と全く同じ温度と圧力条件に対する配向の依存性が観察された。

【0029】

【発明の効果】以上実施例において述べたごとく、本発明においては以下に述べる効果を有する。

【0030】 $MgO(001)$ 結晶面が平坦面とプラスマイナス2、0度以内で交差する MgO 単結晶板上に $SrTiO_3$ もしくは Nb を添加した $SrTiO_3$ 薄膜を形成する時には、薄膜形成中の温度と圧力を制御することで、キューブ オン キューブの配向のみが存在する単結晶薄膜を成長させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】パルスレーザ蒸着法で作製した $SrTiO_3$ 薄膜の配向の圧力-成長温度の依存を示す図。

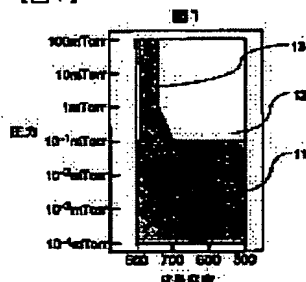
【図2】スパッタリング法で作製した Nb を添加した $SrTiO_3$ 薄膜の配向の圧力-ヒータ温度依存を示す図。

【符号の説明】

11・・・キューブ オン キューブ配向のみが成長する

領域、12・・・薄膜の(110)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域、13・・・薄膜の(111)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域、21・・・キューブ オン キューブ配向のみが成長する領域、22・・・キューブ オン キューブ配向のみが成長する領域、23・・・薄膜の(110)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域、24・・・薄膜の(110)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域、25・・・薄膜の(111)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域、26・・・薄膜の(111)面が $MgO(001)$ 面と平行である配向の他にキューブ オン キューブ配向も観察される領域。

【図1】



【図2】

